

Deckblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	RZ	0002	00	Stand: 28.04.2022

Titel der Unterlage:
ERGEBNISDARSTELLUNG ZUR PHASE 2 DER ÜSIKO
BODENVERFLÜSSIGUNG

Ersteller/Unterschrift:

TEK-ES.2/ [Redacted]

Prüfer/Unterschrift:

TEK-ES.2

Stempelfeld:

UVST:	bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Bereichsleitung:	Freigabe zur Anwendung:
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.

Revisionsblatt



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 2
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	RZ	0002	00	Stand: 28.04.2022

Titel der Unterlage:

**ERGEBNISDARSTELLUNG ZUR PHASE 2 DER ÜSIKO
BODENVERFLÜSSIGUNG**

Rev.	Rev.-Stand Datum	Verantwortliche Stelle	Revidierte Blätter	Kat.*	Erläuterung der Revision
00	28.04.2022	TEK-ES.2			Ersterstellung

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Deckblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0002	00	Stand: 28.04.2022

Titel der Unterlage:
Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo
Bodenverflüssigung

Ersteller/Unterschrift:

TEK-ES.2 /

Prüfer/Unterschrift:

TEK-ES.2 /

Stempelfeld:
DokID: 11972560
ULV-Nr.: 822285

UVST: TEK-ES.2	bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Bereichsleitung:	Freigabe zur Anwendung:
Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.

Revisionsblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 2a Stand: 28.04.2022
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0002	00	

Titel der Unterlage:

**Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo
Bodenverflüssigung**

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat.*	Erläuterung der Revision
00	28.04.2022	TEK-ES.2			Ersterstellung

*
 Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 3

	Blatt
Inhaltsverzeichnis	3
1 Einordnung der ÜsiKo	4
2 Zielsetzung der ÜsiKo	5
3 Bodenverflüssigung	8
4 Fazit	14
5 Literaturverzeichnis	15
Gesamte Blattzahl dieser Unterlage	17

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 4

1 Einordnung der ÜsiKo

Die ÜsiKo (= „Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik“) wird – initiiert von der BGE als verantwortungsvolle Vorhabenträgerin – unabhängig von der jederzeit gegebenen behördlichen Überwachung, als selbstständige Überprüfung größtenteils durch externe Fachgutachter durchgeführt. Der Planfeststellungsbeschluss Konrad ist bestandskräftig. Er selbst ist kein Gegenstand der Überprüfung i. S. d. ÜsiKo.

Die ÜsiKo umfasst bislang folgende zwei Phasen: Die Phase 1 (2017-2020) diente der Ermittlung des Überprüfungsbedarfs. Hier wurde fachgutachterlich untersucht, ob in Bezug auf die Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad ein allgemeiner Fortschritt im Stand von Wissenschaft und Technik eingetreten ist. Soweit dies der Fall ist, wurde dieser Fortschritt als sogenanntes Delta formuliert. Zum überwiegenden Teil wurde bereits in Phase 1 festgestellt, dass der konstatierte Fortschritt keine Relevanz in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad aufweist. Konnte eine Relevanz in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad – in vereinzelt Fällen – in Phase 1 nicht von vornherein ausgeschlossen werden, wurde insoweit ein weiterer Betrachtungsbedarf für Phase 2 ermittelt (sog. sicherheitsrelevante Deltas).

Die Feststellung eines sogenannten sicherheitsrelevanten Deltas in Phase 1 allein lässt keine Schlussfolgerungen konkret in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad zu. Es wird lediglich festgestellt, dass sich der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik in Bezug auf die Anforderungen an ein heute neu zu genehmigendes Endlager verändert hat und eine sicherheitstechnische Relevanz nicht von vornherein verneint werden kann. Die ÜsiKo sieht für diesen Fall vor, dass eine weitergehende fachgutachterliche Betrachtung in Phase 2 (Aktualisierung von Sicherheitsanalysen) erfolgt.

Bei der Aktualisierung von Sicherheitsanalysen (Phase 2 der ÜsiKo) setzen sich die Fachgutachter mit den konkreten Ausprägungen eines Fortschritts im Stand von Wissenschaft und Technik mit Bezug zu den sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad (sog. Sicherheitsrelevanz) auseinander. Im Rahmen der Bearbeitung in Phase 2 werden z. B. neue Modellrechnungen vorgenommen. Sodann wird untersucht, ob eine Relevanz dieser Ergebnisse für die Sicherheitsanforderungen des Endlagers Konrad nach Phase 2 ausgeschlossen werden kann (1.) oder ob die Sicherheitsrelevanz weiterbesteht (2.).

1. Soweit fachgutachterlich festgestellt wird, dass sich die in Phase 1 identifizierte potenzielle Sicherheitsrelevanz nach dem Ergebnis der Phase 2 nicht bestätigt, sind Folgerungen in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad ausgeschlossen. In diesem Fall wird das Delta bereits mit der Aktualisierung der Sicherheitsanalysen geschlossen. Für den Fall, dass die Fachgutachter hier gleichwohl Empfehlungen abgeben, bedeutet dies nicht, dass ihre Umsetzung im Hinblick auf die Sicherheit des Endlagers geboten ist. In diesen Fällen wird die BGE in Abstimmung mit den Behörden vielmehr im Einzelfall bewerten, ob und wenn ja, in welcher Weise eine Realisierung erfolgt, um ggf. einen Beitrag zur überobligatorischen Optimierung der Sicherheit des Endlagers zu leisten.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 5

2. Soweit die Sicherheitsrelevanz eines Deltas für das Endlager Konrad nach der fachgutachterlichen Untersuchung nicht ausgeschlossen werden kann, wird die BGE in Abstimmung mit den Behörden unter Einbeziehung etwaiger Empfehlungen der Gutachter über etwaige Maßnahmen beraten und diese – soweit erforderlich – anschließend umsetzen.

In Ergänzung zu den Deltas wurden in Phase 1 noch Hinweise in Bezug auf die Störfallanalysen gegeben. Diese Hinweise zeigen Optimierungsmöglichkeiten im Detail auf, z. B. in Bezug auf die konkretisierende Ausführungsplanung des Endlagers und seines Betriebs, die in Phase 2 unter Berücksichtigung der vorliegenden Planungsstände beantwortet und damit erledigt werden konnten. Die Bearbeitung der Hinweise erfolgte durch die BGE selbst. Weitergehender Untersuchungsbedarf mit Bezug zur Sicherheit bestand und besteht in diesen Fällen nicht.

2 Zielsetzung der ÜsiKo

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) ist für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständig (§ 9a Abs. 3 AtG). Hierzu gehört auch die Errichtung und der Betrieb des Endlagers Konrad. Für die Schachtanlage Konrad liegt seit dem 22.05.2002 der Planfeststellungsbeschluss (PFB) für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vor. Mit Erlass vom 30.05.2007 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU, heute BMUV) das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als damals zuständige Behörde beauftragt, die Umrüstung der Schachtanlage Konrad zu einem Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung durchzuführen. Im Rahmen der Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich der Endlagerung (zugehöriges Gesetz v. 26.07.2016 (BGBl I S. 1843), in Kraft seit 30.07.2016 und dem Bescheid des BMUV vom 24.04.2017) wurde zum 25.04.2017 die Wahrnehmung dieser Aufgabe auf die BGE übertragen.

Die Planungen für das Endlager Konrad und die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen wurden im Plan Konrad (Endlager für radioaktive Abfälle Schachtanlage Konrad Salzgitter) zusammengefasst. Bis zum Erlass des PFB wurde der Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) sowie des Regelwerkes (insbesondere die Neufassung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001) berücksichtigt.

Die Planfeststellungsbehörde hat unter Beteiligung von Sachverständigen im Jahr 2002 festgestellt, dass die nach dem Stand von W+T erforderliche Vorsorge gegen Schäden aus der Endlagerung radioaktiver Abfälle gewährleistet ist. Diese Feststellung wurde anschließend mehrfach gerichtlich bestätigt.

Unabhängig davon, führt die BGE als verantwortungsvolles Unternehmen eine „Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik“ (ÜsiKo) vor Inbetriebnahme durch.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 6

Die BGE hat sich mit der ÜsiKo selbst die Aufgabe gesetzt, die dem Endlager im Zeitpunkt seiner Zulassung zugrunde gelegten Anforderungen mit dem aktuellen Stand von W&T abzugleichen.

Die BGE orientiert sich hierbei an den Grundsätzen Transparenz und Nachvollziehbarkeit. Die ÜsiKo wird von der BGE als verantwortungsvolle Vorhabenträgerin des in Errichtung befindlichen Endlagers Schacht Konrad aufgrund eigener Initiative mit sachverständiger Unterstützung durchgeführt. Es handelt sich um eine unabhängige Überprüfung, losgelöst von der jederzeit gegebenen behördlichen Überwachung. Ziel der ÜsiKo ist es, die sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik zu überprüfen.

Die ÜsiKo besteht insgesamt aus folgenden Phasen:

1. Ermittlung des Überprüfungsbedarfs
2. Aktualisierung von Sicherheitsanalysen
3. ggf. Anpassung der Planung
4. ggf. Umsetzung im Bau

Bei der ÜsiKo werden bei den o. g. Phasen alle Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad betrachtet. Dies betrifft folgende Aspekte:

- Langzeitsicherheit
- Störfallanalysen
- bestimmungsgemäßer Betrieb
- Sicherstellung der Unterkritikalität
- thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins.

Aktueller Stand

Die Arbeiten zur Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“ der ÜsiKo wurden im Rahmen eines öffentlichen Vergabeverfahrens an externe Auftragnehmer (AN) vergeben. Die AN haben hierbei die Aspekte in der Störfallanalyse Konrad identifiziert, die eine Vertiefung im Rahmen einer Phase 2 der ÜsiKo erforderlich machen. In Ergänzung zu den Deltas wurden in Phase 1 noch Hinweise in Bezug auf die Störfallanalysen gegeben. Diese Hinweise zeigen Optimierungsmöglichkeiten im Detail auf, z. B. in Bezug auf die konkretisierende Ausführungsplanung des Endlagers und seines Betriebs, die in Phase 2 unter Berücksichtigung der vorliegenden Planungsstände beantwortet und damit erledigt werden konnten. Die Ergebnisse der AN wurden zusätzlich noch durch ein unabhängiges Review-Team überprüft. Im Rahmen eines Workshops wurden die Ergebnisse der AN sowie des Reviews im Januar 2019 (fach-) öffentlich vorgestellt. Im Anschluss wurden durch die AN unter Berücksichtigung des Reviews sowie der Hinweise aus dem Workshop die Abschlussberichte erstellt und die Phase 1 der ÜsiKo abgeschlossen. Die Abschlussberichte der AN und des Reviews sind auf der Internetseite der BGE veröffentlicht. Sie bilden die Grundlage der Phase 2 der ÜsiKo.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 7

Aufgabenbeschreibung

Die in dieser Unterlage beschriebene Aufgabe ist der Teil der Phase 2 („Aktualisierung von Sicherheitsanalysen“) der ÜsiKo, die sich mit der Störfallanalyse Konrad befasst. Konkret ist damit die Bearbeitung des in Kap. 2 aufgeführten Hinweises gemeint, der im Abschlussbericht der Phase 1 der ÜsiKo von Campo et al. [1] beschrieben wurde.

Ziel des Auftrages ist es, eine dem aktuellen Stand von W&T entsprechende Ausarbeitung mit dem Charakter einer Sicherheitsanalyse / eines Teiles einer Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad auf Basis der Ergebnisse der Phase 1 der ÜsiKo zu erstellen und die sich daraus ergebenden fachlichen Modifikationen für die bestehende Sicherheitsanalyse Konrad transparent darzustellen.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 8

3 Bodenverflüssigung

Darstellung des Hinweises aus Phase 1, mit der dazugehörigen Beschreibung und den Hinweisen zur weiteren Bearbeitung aus Phase 1 als Eingangsinformation. Hier werden auch die ergänzenden Anmerkungen des Review-Teams mit aufgenommen:

In ihrem Bericht *Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen* haben Campo et al. [1] auf Formblatt 2.2.1.2.1 (Seite 147) festgestellt:

„Zu einer der Auswirkungen des Bemessungserdbebens auf den Baugrund zählt die Bodenverflüssigung. Laut den KTA-Regeln 2201.1 Kap. 7 (2011) und 2201.2 Kap. 5 (2012) ist die Veränderung des Baugrundes durch die Bodenverflüssigung zu betrachten. Beide KTA-Regeln (1990) wurden bei der Auslegung der sicherheitstechnisch relevanten Bauwerke und Anlagenteile berücksichtigt. Im Planfeststellungsverfahren gibt es keinen Nachweis, dass die Bodenverflüssigung bewertet wurde. Die Baugrunduntersuchung und Gründungsplanung für die obertägigen Bauwerke am Schacht 1 und 2 werden in den Berichten EU 503 (1996) und EU 504 (1996) dargestellt. Sie wurden bereits von Sachverständigen begutachtet (1997 und aktualisiert im Jahr 2000).

Hinweis S. 148:

Es wird empfohlen, die Bodenverflüssigung standortspezifisch zu berücksichtigen. Ob die Bodenverflüssigung zu unterstellen ist und ob sie bereits betrachtet wurde, ist zu überprüfen.“

In Ihrem Bericht zur Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“ von Röhlig et al. [2] hatte das Review-Team keine ergänzenden Anmerkungen zum Hinweis von Campo et al. [1].

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜSiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 9

Konkrete Darlegung des aktuellen Standes von W&T (zum Stichtag des Arbeitsbeginns) zum Hinweis. Dabei wird festgestellt, ob sich der Stand von W&T im Vergleich zu dem Bericht der Phase 1 verändert hat. Sofern dies der Fall ist, wird die Veränderung ebenfalls nachvollziehbar aufgeführt. Weiterhin werden hier die anzuwendenden Regelwerksanforderungen, Sicherheitsmaßstäbe und Sicherheitsanforderungen aufgeführt. Basis hierfür sind die in Phase 1 der ÜSiKo in den Abschlussberichten sowie dem Review angeführten Aussagen:

In der durch den Kerntechnischen Ausschuss (KTA) erstellten KTA-Regel 2201 zur Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen wird, wie von Campo et al. [1] beschrieben, die Betrachtung von Baugrundveränderungen durch seismische Einwirkungen gefordert. Dies umfasst Verdichtungen im Korngefüge wie auch die Abminderung der Scherfestigkeit durch Bodenverflüssigung oder andere Veränderungen des Korngefüges. Bereits zur Zeit des Planfeststellungsverfahrens war die Bodenverflüssigung Teil der genannten KTA-Regel. Die KTA 2201.1 [3] führt in der ersten Version von 1975 auf, dass Veränderungen des Baugrunds auftreten können und keine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Anlagenteile der Klasse I¹ zur Folge haben dürfen. Der Begriff Bodenverflüssigung wurde erst in diesem Zusammenhang in der Revision der Unterlage von 2011 als Beispiel eingeführt. Die KTA 2201.2 [4] legt bereits 1982 in Kapitel 5 fest, dass Veränderungen des Baugrundes, wie Bodenverflüssigung, als Folge von Erdbeben zu bestimmen sind. Als Beurteilungsgrundlagen werden im Anhang konkrete Vorgaben angeführt. Im Vergleich zur aktuell gültigen KTA 2201.2 [4] von 2012 ergibt sich inhaltlich in Bezug auf das Thema Bodenverflüssigung kein Unterschied. Der Inhalt wurde redaktionell überarbeitet. Eine neuere Überarbeitung der KTA 2201.2 [4] liegt nicht vor. Obgleich die KTA-Regel für Kernkraftwerke gilt und auf das Endlager Konrad keine unmittelbare Anwendung findet, sollen die Anforderungen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Sicherheitsanforderungen des Endlagers Konrad hier entsprechend des Hinweises aus ÜSiKo Phase 1 betrachtet werden.

Im DIN-Normenwerk wird die Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben in der DIN EN 1998 „Eurocode 8, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben“ [5] behandelt. Der Teil 5 (Stand Dez. 2010) befasst sich mit der Gründung von Bauwerken, wobei Vorgaben für die Bodenverflüssigung gemacht werden und diese im Anhang B durch eine vereinfachte Verflüssigungsuntersuchung bewertet werden kann. Für den Teil 5 der Norm liegt ein Entwurf vor, der bisher nicht in Kraft getreten ist. Der Nationale Anhang zur DIN EN 1998-5 [6] vom Juli 2021 legt sicherheitsrelevante Parameter für die Anwendung der Norm fest und löst damit den Nationalen Anhang mit Stand Juli 2011 ab. Eingefügt wurde u. a. ein Anhang zum vereinfachten Nachweis gegen Bodenverflüssigung, welcher den Nachweis aus der DIN-Norm 1998-5 ergänzt.

Sowohl die KTA 2201 als auch die DIN EN 1998 legen fest, dass die Bearbeitung bzw. Bewertung durch einen Spezialisten durchzuführen ist.

¹ Anlagenteile werden in zwei Klassen unterteilt. Klasse I umfasst Anlagenteile und bauliche Anlagen, die zur Erreichung der Schutzziele (hier: Einschluss der radioaktiven Stoffe) und der Begrenzung der Strahlenexposition erforderlich sind.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 10

Seit der Erstellung des Berichts zur Phase 1 der ÜsiKo von Campo et al. [1] wurde der aktuelle Stand von W&T durch die Aktualisierung des Nationalen Anhangs der DIN EN 1998 [6] aufgenommen. Weder die KTA 2201.2 [4] noch die DIN EN 1998-5 [5] selbst wurden seit der Phase 1 der ÜsiKo verändert.

Umfassende nachvollziehbare Ausarbeitung zu dem Hinweis auf Basis des aktuellen Standes von W&T:

Bei dynamischer Beanspruchung, wie Erdbeben, kann unter bestimmten Voraussetzungen ein Verlust der Scherfestigkeit des Bodens auftreten, die sogenannte Bodenverflüssigung. Dieser Effekt tritt vor allem bei wassergesättigten, gleichförmigen und feinkörnigen Böden auf. Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat in der sicherheitstechnischen Regel 2201.2 [4], die Verpflichtung zur Betrachtung des Problems der Bodenverflüssigung für Kernkraftwerke formuliert. Dabei wird festgelegt, dass für die maximale Bodenbeschleunigung unterhalb von $1,0 \text{ m/s}^2$ oder wenn der Baugrund aus steifen geologisch vorbelasteten Tonen oder gleichartigen bindigen Böden besteht, kein Nachweis zur Bodenverflüssigung geführt werden muss.

In Anhang 4 der KTA 2201.2 [4] ist ein Schema zur Abschätzung des Verflüssigungspotentials aufgeführt. Im Abschnitt 4.1 des Anhangs werden verschiedene Randbedingungen wie Grundwasserstand und Bodenarten genannt, die eine Bodenverflüssigung begünstigen können. Darüber hinaus werden Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Gefahr einer Bodenverflüssigung aufgeführt. Diese sind,

- a) Kornverteilungsanalysen
- b) Ramm- und Drucksondierungen
- c) Grundwasserstandsmessungen (höchster Grundwasserstand mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$) und
- d) zyklische Scherversuche, sofern eine Bodenverflüssigung anhand der Kornverteilungsanalysen nicht auszuschließen ist.

In Abschnitt 4.2 des Anhangs wird ein Verfahren zur Abschätzung der Möglichkeit einer Bodenverflüssigung näher erläutert. In Schritt 1 wird anhand der Kornverteilung bestimmt, ob eine Verflüssigung zu unterstellen ist. In Schritt 2 wird das dynamische Schubspannungsverhältnis $(\max \tau / \sigma'_{0t})^2$ errechnet. Dieses wird in Schritt 3 mit der relativen Lagerungsdichte I_D des Bodens abgeglichen. Daraus ergibt sich, ob eine Verflüssigung auszuschließen ist oder ob weitere Untersuchungen durchzuführen sind.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wurde untersucht mit welchen Erdbebenstärken im Laufe des Betriebs des Endlagers Konrad zu rechnen ist. Das Kapitel „B II.5 Standortsspezifische Seismologie“ des Planfeststellungsbeschlusses [7] beschreibt die vom Antragsteller geführten Be-

² τ = Schubspannung, σ'_{0t} = wirksame vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 11

trachtungen aus der eingereichten Unterlage EU 184.0 zur seismischen Auslegung [8]. Diese basieren auf der damals geltenden KTA 2201 (Stand 1990) [3;4]. Als Bemessungserdbeben wurde vom Antragsteller das mit der Epizentralintensität $I_0 = 7$ (MSK) eingeordnete „Prignitz-Beben“ (siehe [8]) zugrunde gelegt. Daraus ergeben sich die folgenden Lastannahmen, die für Nachweise zur Standfestigkeit im Erdbebenfall zugrunde zu legen sind:

Intensität	$I_0 = 7$
max. Beschleunigung horizontal	$a_h = 120 \text{ cm/s}^2$
max. Beschleunigung vertikal	$a_v = 60 \text{ cm/s}^2$
jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit	$w_{\ddot{u}} = 4 \cdot 10^{-6}$
Dauer der Starkbebenphase für $a_h > 50 \text{ cm/s}^2$	$D = 5 \text{ s}$
für $a_h > 100 \text{ cm/s}^2$	$D = 3 \text{ s}$

Die maximale horizontale Beschleunigung liegt über dem in der KTA 2201.2 [4] genannten Wert, bei dem weitere Betrachtungen zur Bodenverflüssigung durchzuführen sind.

In den Berichten zur Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung (EU 36.25 und EU 345) [9;10] wurden die Bedingungen an den Standorten Konrad 1 und Konrad 2 beschrieben und Empfehlungen für die Gründung zu den einzelnen geplanten Gebäuden gegeben. Hierzu wurden 1984 und 1985 mehrere Erkundungsbohrungen bis max. 13 m unter die Geländeoberkante (GOK) durchgeführt. Hinzu kamen mehrere Rammsondierungen. Der Baugrundaufbau wurde inklusive Kornverteilungen ebenfalls beschrieben. Eine Aktualisierung unter Einbeziehen weiterer Untersuchungen erfolgte 1996 und 1997 mit den Unterlagen EU 503 und EU 504 [11;12].

Der Baugrund für Konrad 1 besteht aus Auffüllungen aus Sanden und Schluff-Sanden in der oberen Deckschicht mit einer Mächtigkeit von bis zu 2,3 m unter GOK. Darunter befindet sich eine Schicht aus Löß und Geschiebemergel mit dem anschließenden Grundgebirge aus Kalkstein. Die oberen Schichten, als auch ein Teil des Verwitterungsbereichs des Kalksteins weisen in den Rammdiagrammen verminderte Tragfähigkeit auf. Darunter steht leicht einfallend in das Gelände tragfähiges Gebirge an. Für den Standort Konrad 2 wird der Baugrund in der oberen Schicht durch Auffüllungen und auffüllverdächtige Schichten aus Schluffen, Sanden, Löß- und Geschiebelehm mit einer Mächtigkeit von bis zu 5,7 m unter GOK beschrieben. Darunter stehen bis unter die untersuchte Teufe hinaus Schluffe, Schluff-Sand-Gemische und Sande an. Die Rammsondierungen zeigen nicht ausreichende bzw. abgeminderte Tragfähigkeit des Baugrunds. Diese Bewertung richtet sich nicht auf eine Gefährdung des Untergrunds gegenüber einer Bodenverflüssigung.

Für die Gründung der zu errichtenden Gebäude wird in fast allen Fällen ein Bodenaustausch sowie eine Verdichtung des Baugrunds empfohlen um die für das jeweilige Gebäude zulässige Bodenpressung einzuhalten. Zusätzlich wird an einigen Stellen eine Ringdrainage zur Ableitung eindringenden Niederschlagswassers und evtl. auftretenden Sickerwassers empfohlen. Somit wird der Sättigung des Bodens mit Wasser und einem Anstieg des Grundwasserstandes in diesem Bereich entgegengewirkt.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 12

Die empfohlenen Maßnahmen sind üblich und auch wirksam gegen Bodenverflüssigung. Eine Bewertung hinsichtlich der Auswirkungen von Erdbeben als auch ein Nachweis der Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung wie er nach KTA 2201.2 [4] zu führen wäre, findet jedoch keine Erwähnung in den Unterlagen zur Baugrunduntersuchung.

Eine Aktualisierung der Baugrunddaten wurde mit einer ergänzenden Baugrunduntersuchung 2009 durchgeführt [13]. Im Zuge dieser Untersuchungen wurden weitere Bohrungen erstellt und weitergehende Untersuchungen durchgeführt, um bodendynamische Kennwerte zu erhalten. Im Weiteren wurden durch den damaligen Auftragnehmer für mehrere Gebäude Baugrundeempfehlungen erstellt (z. B. [14]). Darin wurden die Themen Setzungsverhalten und Grundbruch bearbeitet.

Die DIN-Norm DIN EN 1998 Teil 1 bis 5 zur Auslegung von Gebäuden gegen Erdbeben löste die im Planfeststellungsverfahren gültige DIN 4149 für Bauten in deutschen Erdbebengebieten ab. Die Einführung fand im Rahmen der Angleichung europäischer Normen durch das europäische Komitee für Normung (CEN) statt. Hier wurde in DIN EN 1998 Teil 5 [5] (welcher nur in Verbindung mit dem entsprechenden nationalen Anhang [6] gültig ist) die Betrachtung von Bodenverflüssigung konkret in das DIN-Regelwerk miteingeführt.

Im Rahmen einer neueren Prüfung des Baugrundes nach DIN EN 1998 wurde zur Beurteilung einer potentiellen Gefährdung durch Bodenverflüssigung für den anstehenden Baugrund im Bereich der Gebäude am Standort des Endlagers Konrad 2 ein Nachweis geführt [15]. Diese Gebäude müssen die sicherheitstechnischen Anforderungen der KTA erfüllen. Sie umfassen die Pufferhalle (ZEB), Umladehalle (ZEA), Lüftergebäude (ZTE), Grubenwasserübergabestation (ZRH) und Schachtkeller (ZAA).

In der Beurteilung zu potentiellen Gefährdungen durch Bodenverflüssigung [15] werden die bisher durchgeführten Arbeiten im Rahmen der Erfüllung der KTA 2201 zum Planfeststellungsverfahren als auch im Rahmen der Revision der KTA-Regel nach dem Planfeststellungsbeschluss dargestellt. In diesem Rahmen (und auch der Erfüllung der Vorgaben der DIN EN 1998) wurden unter anderem auch weitere Untersuchungen des Untergrunds zur Erweiterung des Datenbestandes durchgeführt. Eine Bewertung der Gefährdung durch Bodenverflüssigung wurde zuerst anhand bodenmechanischer Eigenschaften, wie Korngrößenverteilung, Feinkornanteil, Wassergehalt und Plastizitätszahl durchgeführt. Hierzu wurden neben den Bodenproben auch aus den durchgeführten Drucksondierungen (CPT, Cone Penetration Test) Informationen zum Feinkornanteil abgeleitet. Danach erfolgte eine Gegenüberstellung von durch das Auslegungserdbeben erzeugten induzierten zyklischen Schubspannungen mit den zur Verflüssigung führenden Schubspannungen. Dieses Verfahren wird sowohl in der aktuell gültigen KTA 2201.2 [4] als auch in DIN EN 1998-5 [5] als Standardverfahren empfohlen.

Die Nachweisführung wurde für den Untergrund der einzelnen Gebäude durchgeführt mit dem Ergebnis, dass eine ausreichende Sicherheit gegen Verflüssigung eindeutig vorhanden ist. Die Nachweise im Bereich der genannten Gebäude am Standort des Endlagers Konrad 2 haben gezeigt, dass eine Bodenverflüssigung nicht zu unterstellen ist.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 13

Abschließende Auflistung der fachlichen Aspekte, die bei einem Vergleich der Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad mit den Ergebnissen der Ausarbeitung, Modifikationen zur Folge haben. Diese Modifikationen werden eindeutig und konkret beschrieben sowie ergänzend tabellarisch aufgelistet:

Wie im Hinweis von Campo et al. [1] angeführt, wurde die Thematik der Bodenverflüssigung in den Unterlagen zum Planfeststellungsbeschluss nicht genannt. Es wurde gemäß der KTA 2201.1 [3] ein Bemessungserdbeben für den Standort abgeleitet und im PFB [7] festgeschrieben. Die im Rahmen der Untersuchung des Baugrundes und die daraus resultierenden Gründungsempfehlungen sparten jedoch die Thematik der Bodenverflüssigung, wie sie nach KTA 2201.2 [4] zu betrachten wäre, aus. Allerdings wurden in diesem Zuge Untersuchungen durchgeführt, die in der KTA 2201.2 [4] gefordert werden und Empfehlungen gegeben, um einen standsicheren Untergrund für die zu errichtenden Gebäude zu schaffen.

Mit dem gutachterlichen Nachweis aus [15], für den auch neuere Untersuchungen durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass im Bereich des Standorts des Endlagers Konrad 2 nicht mit Bodenverflüssigung zu rechnen ist. Daraus ergeben sich keine weiteren Modifikationen von Anlagen, Betriebsweisen oder Sicherheitsmaßnahmen.

Bewertung der fachlichen Aspekte, die eine Modifikation zu den bestehenden Sicherheitsanalysen bedeuten. Diese Bewertung soll die fachlichen Aspekte der betroffenen Sicherheitsanalyse Konrad im Gesamtzusammenhang betrachten:

Vorhergehend wurde dargestellt (siehe [15]), dass für den Standort des Endlagers Konrad 2 keine Bodenverflüssigung zu unterstellen ist. Es ergibt sich kein Bedarf für weitere Maßnahmen.

Da im Planfeststellungsverfahren und dem daraus ergangenen Planfeststellungsbeschluss zu diesem Punkt keine Anforderungen bzw. Aussagen gemacht wurden sind keine Systemanalysen hieraus betroffen.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 14

4 Fazit

Im Bericht von Campo et al. [1] wird folgender Hinweis gegeben:

„Es wird empfohlen, die Bodenverflüssigung standortspezifisch zu berücksichtigen. Ob die Bodenverflüssigung zu unterstellen ist und ob sie bereits betrachtet wurde, ist zu überprüfen.“

In dieser Ergebnisdarstellung wird dargestellt, welche Untersuchungen des Baugrunds am Standort des künftigen Endlagers Konrad 2 im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens und danach durchgeführt wurden und welche Empfehlungen zur Gewährung eines standsicheren Untergrunds für die zu errichtenden Gebäude gegeben wurden. Im Zuge neuerer Untersuchungen des Baugrundes nach der DIN EN 1998 [15] wurde für sicherheitsrelevante zu errichtende Gebäude der Schachtanlage Konrad 2 gezeigt, dass nicht mit einer Bodenverflüssigung im Erdbebenfall zu rechnen ist.

Der Hinweis wurde damit vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz wird ausgeschlossen.

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 15

5 Literaturverzeichnis

[1] DMT GmbH & Co. KG, DSR Ingenieurgesellschaft mbH

Campo, V.; Feinhals, J.; Schönberner, S.; Walbrodt, D.: Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) – Los I: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen, Hamburg, 2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0006/00

[2] Röhlig, K.; Küppers, C.; Schäfer, T.; Walther, C.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“, Clausthal-Zellerfeld, 2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0011/00

[3] Der Kerntechnische Ausschuss (KTA)

KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze; in der jeweils gültigen Fassung

[4] Der Kerntechnische Ausschuss (KTA)

KTA 2201.2 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 2: Baugrund; in der jeweils gültigen Fassung

[5] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

DIN EN 1998-5 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte;

Deutsche Fassung EN 1998-5:2004; Stand: Dezember 2010

[6] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

DIN EN 1998-5/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter- Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte; Stand: Juli 2021

[7] Niedersächsisches Umweltministerium

PFB: Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung; 22. Mai 2002

VDIS 9K/1321/DA/ES/0001

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 16

[8] Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE)

EU 184.0: Tagesanlagen Schacht Konrad 2 - Auslegungsanforderungen gegen seismische Einwirkungen; Februar 1996
VDIS 9K/51/FA/TT/0001/00

[9] Kielbassa, H.

EU 36.25: Endlager Konrad/Tagesanlagen Schacht Konrad 2 / Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung/Zusammenfassung; Stand: 14.03.1986
VDIS 9K/212341/F/RB/0002/00

[10] Kielbassa, H.

EU 345: Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung, 2. Bericht Schacht Konrad 1; Stand: 05.12.1984
VDIS 9K/212341/F/RB/0003/00

[11] BRP Consult, Beckmann, Ruppert+Partner GmbH

EU 503: Endlager Konrad, gutachterliche Stellungnahme zu den Baugrunduntersuchungen für die Tagesanlage, Außenanlagen und Verkehrsanbindung, Januar 1996
VDIS 9K/F/TV/0004/00

[12] Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE)

EU 504: Spezifikation Baugrund Tagesanlagen, Verkehrsanbindung, Januar 1997
VDIS 9K/F/TV/0003/01

[13] GGU - Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH

Tagesanlagen Schacht Konrad 2 - Ergänzende Baugrunderkundung, Teil 1 und Teil 2, Stand: 10.08.2010
VDIS 9KE/3173/FG/ER/0002/00

[14] GGU - Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH

Salzgitter Tagesanlagen Schacht Konrad 2 – Baugruben und Bauwerksgründung – Gründungsberatung Umladehalle (ZEA) und Pufferhalle (ZEB), Stand: 04.08.2010
VDIS 9KE/3713/FG/ER/0001/00

Ergebnisdarstellung zur Phase 2 der ÜsiKo Bodenverflüssigung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0002	00

Blatt: 17

[15] bsp Ingenieure GmbH

Tagesanlagen Konrad 2; Bestimmung dynamischer Bodenkennwerte; Crosshole-Messungen; Gefährdung durch Bodenverflüssigung, Stand: 15.12.2021
 ULV 9KE/Z/FG/BZ/0001/01 (DokID 11955076)